

Subtraktionsverfahren zur Erfassung der Gewebepерfusion mittels Ultraschall-Dopplermethode

Bührer A.^{1,2}, Moser U.¹, Pasch T.²

¹Institut für Biomedizinische Technik und Medizinische Informatik,
ETH und Universität Zürich, CH-8092 Zürich, Schweiz

²Institut für Anästhesiologie, Universitätsspital Zürich, CH-8091 Zürich, Schweiz

PROBLEMSTELLUNG

Die Bestimmung der Gewebepерfusion (z.B. in der Muskulatur oder in parenchymatösen Organen) mit Hilfe der gepulsten Ultraschall-Dopplertechnik kann durch Bewegungsartefakte (Muskelzuckungen, Vibrationen des Untergrunds) gestört werden. Diese erzeugen Dopplerfrequenzen im selben Frequenzbereich wie langsam fließende Erythrocyten und können deswegen nicht einfach im Signalleistungsspektrum des Dopplersignals weggefiltert werden. Um diese Bewegungsstörungen trotzdem unterdrücken zu können, wurde ein Subtraktionsverfahren entwickelt.

METHODE

Bestimmung der Gewebepерfusion mit Hilfe eines gepulsten Ultraschall-Dopplerverfahrens

Bei der gepulsten Ultraschall-Dopplermethode wird eine Messschicht ins Gewebe gelegt, die nicht nur ein einzelnes Blutgefäß, sondern die gesamte terminale Strombahn erfasst. Unter der terminalen Strombahn sind Arteriolen, terminale Arteriolen, Kapillaren, postkapilläre Venolen, Venolen und die arteriovenösen Shunts zu verstehen. In unserem Fall beträgt die Dicke der Messschicht etwa 1 mm, ihre Grundfläche etwa 4x4 mm. Die Messtiefe kann zwischen 3 und 20 mm gewählt werden.

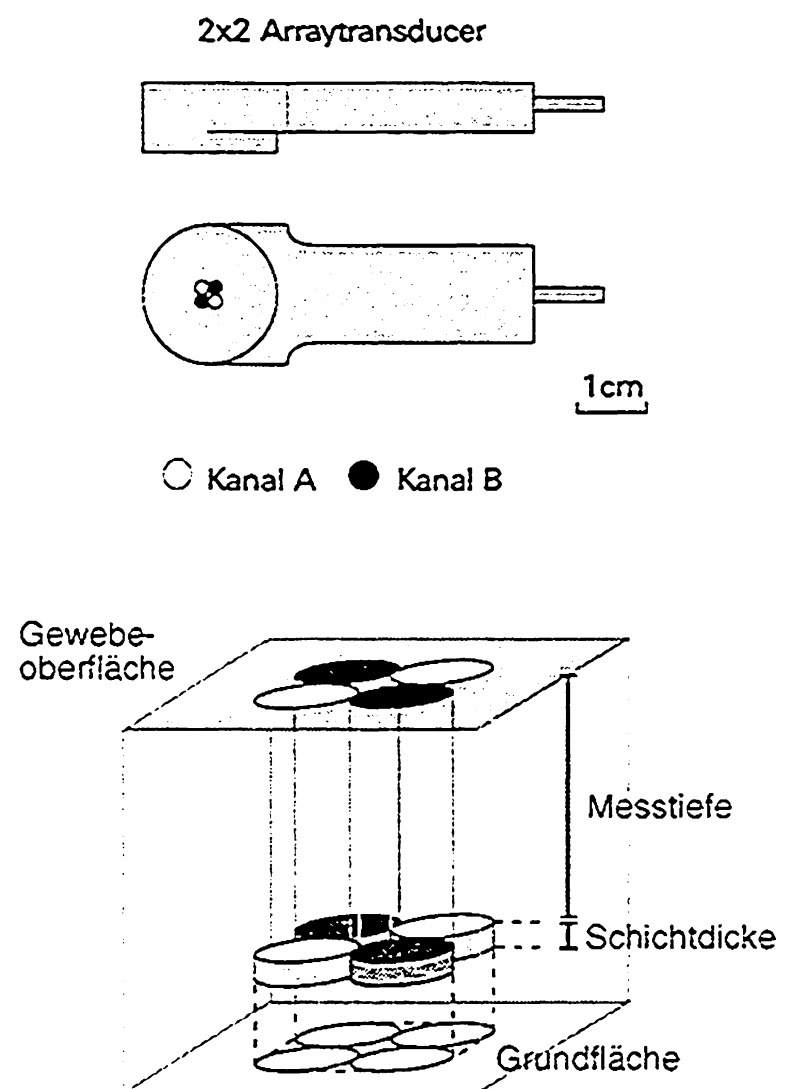
Das Ultraschall-Dopplersignal enthält nach dem Dopplerprinzip Informationen über die Geschwindigkeit (v_z) in und gegen die Ultraschallstrahlrichtung der in der Messschicht fließenden Erythrocyten. Das 1. Moment des Signalleistungsspektrum ist proportional zur Gewebepерfusion, da v_z proportional zur Dopplerfrequenz und die Signalleistung proportional zur Anzahl Erythrocyten ist.

Die Grundidee des Subtraktionsverfahrens

Mit Hilfe eines 2x2 Arraytransducers wird die Messschicht in vier Felder unterteilt. Je zwei Felder werden kreuzweise zu zwei Messgebieten (A und B) zusammengefasst. Wird das Dopplersignal des einen Gebietes in geeigneter Weise vom Dopplersignal des anderen subtrahiert, können Bewegungsartefakte unterdrückt werden, ohne dadurch die Resultate der Gewebepерfusionsmessung zu verfälschen. Dabei wird angenommen, dass die Gewebepерfusion und die Bewegungsstörungen in der ganzen Messschicht gleichartig sind. Das Subtraktionsverfahren nutzt die Tatsache aus, dass die von der Gewebepерfusion stammenden Dopplersignale (s_{PEI}) im

Gegensatz zu den von Bewegungsartefakten erzeugten Signalen (s_{ART}) stochastischer Natur sind.

Die s_{PEI} entsprechen bandbegrenztem Rauschen, da die Erythrocyten im Blut mechanisch nicht starr verbunden sind und in zufälliger zeitlicher Abfolge in die Messschicht eintreten. Aus diesem Grund besitzen die beiden s_{PEI} zwar gleiche statistische Eigenschaften, sind aber zeitlich nicht korreliert. Die Differenz solcher stochastischer Signale hat dieselben Eigenschaften wie deren Summe.



Die Messschicht wird mit Hilfe eines zweidimensionalen Arraytransducers in vier Felder unterteilt. Diese werden kreuzweise zu zwei Gebieten zusammengefasst. Durch geeignete Differenzbildung der Dopplersignale (Kanal A und B) dieser beiden Gebiete können Bewegungsstörungen unterdrückt werden.

Im Gegensatz dazu verändern die Reflektoren (z.B. Muskelfasern), welche Bewegungsartefakte erzeugen, ihre Struktur kurzzeitig praktisch nicht. Ihre mechanische Auslenkung beträgt einige Mikrometer, so dass während der ganzen Messzeit annähernd das gleiche Gewebepерfusionsvolumen

beobachtet wird. Die s_{ARI} der beiden Gebiete korrelieren deshalb und können durch geeignete Differenzbildung unterdrückt werden.

Das Ultraschall-Dopplersystem

Das neu entwickelte Ultraschall-Dopplersystem (USDS) wurde mit zwei Empfangskanälen versehen, damit das Subtraktionsverfahren implementiert werden konnte. Es besteht aus vier Hauptkomponenten. Dies sind ein Arraytransducer, das eigentliche Ultraschall-Dopplermodul, die Signalprozessorkarte und ein IBM-kompatibler Personalcomputer (PC). Der **2x2-Arraytransducer** ist unfokussiert und hat runde 2 mm Piezoelemente. Die empfangenen Echosignale werden noch im Transducergehäuse vorverstärkt. Der Transducer wurde von der Firma Medizintechnik Basler AG (MTB), Zürich, Schweiz, nach unseren Spezifikationen hergestellt. Das **Ultraschall-Dopplermodul** verfügt über vier gepulst betriebene 15 MHz-Sender und zwei Empfangskanäle. Die empfangenen Analogsignale werden verstärkt, komplex demoduliert, gefiltert und digitalisiert. Die so gewonnenen Daten werden an die **Signalprozessor-Karte** (DSP-Karte) weitergeleitet. Dabei handelt es sich um eine PC-Einsteckkarte des Typs DPC/C40D der Firma Loughborough Sound Images Limited (LSI), England. Sie ist mit zwei Hochleistungsprozessoren des Typs TMS320C40 (Texas Instruments, USA) bestückt. Diese sind in der Lage, die Dopplerdaten in Echtzeit gleichzeitig mit zwei verschiedenen Algorithmen (z.B. dem Subtraktionsverfahren und der konventionellen Methode) zu verarbeiten und so auf einfache Art und Weise zu vergleichen. Nachdem die Daten auf der Signalprozessorkarte verarbeitet und graphisch aufbereitet worden sind, werden sie über ein Dual Port RAM an den PC (Intel 80456/50 MHz) übergeben. Dieser dient im wesentlichen als Benutzerschnittstelle, welche unter anderem die Daten in Echtzeit visualisiert und abspeichert. Die Signalleistungsspektren werden farbcodiert dargestellt. Die Gewebepfusion wird den Spektren überlagert präsentiert. Das PC-Programm ist in "Visual C++ 1.5" von "Microsoft" für "Windows 3.11" geschrieben.

ÜBERPRÜFUNG DES NEU ENTWICKELTEN SUBTRAKTIONSVERFAHRENS

In vitro

Um das USDS zu testen, wurde ein Flussmodell konstruiert, mit welchem nicht nur definierter Fluss erzeugt werden kann, sondern auch Bewegungsstörungen vorgegeben werden können. Als Gewebemodell dient ein speziell angefertigter, minituriarierter Dialysefilter mit etwa 700 Kapillaren, welche einen Innendurchmesser von 200 µm besitzen. Das Gewebemodell ist über Stäbe mit zwei Basslautsprechern verbunden. Mit Hilfe dieser Lautsprecher können Bewegungsstörungen simuliert werden. Die Lautsprecherbewegungen werden über einem PC geregelt.

Als Sensoren dienen zwei induktive Wegaufnehmer. Der Fluss wird mit einer Spritzenpumpe erzeugt.

An diesem Labormodell konnten drei wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden. Erstens, sind keine Bewegungsstörungen vorhanden, stimmen die mit dem konventionellen Verfahren und die mit dem Subtraktionsverfahren ermittelten Gewebepfusionswerte sehr gut überein. Zweitens, sind Bewegungsstörungen vorhanden, überschätzt das konventionelle Verfahren die Gewebepfusion massiv. Drittens, das Subtraktionsverfahren ermittelt für die Gewebepfusion mit und ohne Bewegungsstörungen etwa die gleichen Werte. Im Vergleich zum konventionellen Verfahren unterdrückt das Subtraktionsverfahren Bewegungsartefakte um bis zu 30 dB.

In vivo

Für erste Messungen in der Beugemuskulatur des Vorderarms von Probanden wurde mit einer Oberarmmanschette eine dreiminütige Ischämie mit anschliessender reaktiver Hyperämie erzeugt. Gegen Ende der Ischämiephase kam es häufig zu Muskelzittern. Die so entstandenen Bewegungsartefakte, welche bei herkömmlicher Signalverarbeitung die Messungen stark verfälschen, konnten mit dem beschriebenen Subtraktionsverfahren teilweise unterdrückt werden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aufgrund der gefundenen Resultate erscheint das Subtraktionsverfahren geeignet, Bewegungsartefakte mindestens teilweise zu unterdrücken. Weitere Messungen am Tier und am Menschen sind notwendig, um den Stellenwert dieses neuen Ultraschall-Dopplerverfahrens definitiv beurteilen zu können. Durch Verfeinerung des Subtraktionsalgorithmus soll das Verfahren noch robuster werden.

LITERATUR

BASLER, S. Nichtinvasive Erfassung der Gewebsdurchblutung mittels Ultraschall. Dissertation Nr. 8796 der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich; 1989

BÜHRER, A. Erfassung der Gewebepfusion in der Anästhesiologie mit Hilfe eines Ultraschall-Dopplersystems. Dissertation Nr. 11700 der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich; 1996

BÜHRER, A., MOSER, U. T., SCHUMACHER, P. M., PASCH, T., ANLIKER, M. Subtraction procedure for the registration of tissue perfusion with Doppler ultrasound. *Ultrasound Med. Biol.* 22: Nr. 4; 1996

DYMLING, S. O., PERSSON, H. W., HERTZ C. H. Measurement of blood perfusion in tissue using Doppler ultrasound. *Ultrasound Med. Biol.* 17: 433 - 444; 1991